

백곡저수지 개발에 의한 산사태 취약지역 GIS 및 비탈면 안정성 분석

제해찬, 흥택수, 흥봉균 (극동건설(주))

1. 서 론

산사태 발생을 예측하기 위해서 지형, 지질, 강우자료를 이용하여 GIS(Geographic Information System)기법을 이용하거나, 회귀분석을 이용한 기법들이 연구되어져 왔다. 동아시아 몬순기후대에 속한 우리나라는 태풍이나 집중호우의 영향으로 산사태 재해가 빈발하고 있으며, 토석류를 포함한 산사태 재해의 발생을 예측하여 적극적으로 대비하는 것이 필요하다. 연구지역의 지질은 조립질화강암, 황반암 및 각성암, 안구상반상변정편마암, 흑운모 편마암 및 층적층으로 이루어져 있으며 특히 산사태 발생에 취약한 변성암류(흑운모편마암)가 68%로 가장 넓게 분포하고 있다. 득높이기 사업을 설계하면서 GIS기법을 도입하여 환경적 변화로 인한 산사태의 발생 예상지역을 광역적인 분석하고, 활동이 예상되는 지역에 비탈면 안정성 해석을 실시 하고자 한다.

2. GIS를 이용한 광역적 비탈면 안정성 검토

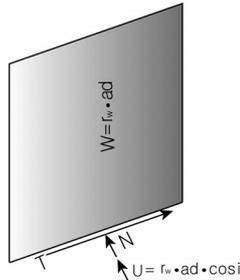
본 연구에서 GIS를 이용한 광역적 비탈면 검토를 위하여 지형도의 등고선 자료로부터 비탈면의 경사를 구하기 위해 ARC/INFO의 TIN 모듈과 표현방법으로는 래스터(Raster) 방식을 사용하였다. 경사 정보는 1:5,000 축척 수치지형도를 활용하여 비탈면에 대한 해발고도 정보를 추출하여 불규칙삼각망을 생성하였고, 수치표고모델(DEM, Digital Elevation Model)을 획득하였다. DEM 격자의 크기는 10m × 10m로 설정하였으며 이를 통해 연구지역의 각 셀(Cell)에 대한 비탈면 경사각 정보를 분석을 실시하였다. 백곡저수지의 지반강도정수는 표 2.1와 같이 적용을 하였고, GIS 지리 정보 공간 DB(DB, Database)를 구축을 위하여 지형도, 지질도, 토양도, 지반강도 물성치 및 지하수위를 감안한 자료들에 대하여 중첩해석 실시하여 정적안정성에 대한 무한비탈면 안정성 해석을 시행하였다.

표 2.1 적용 지반강도 정수(토사층)

단위중량(kN/m ³)			내부 마찰각	점착력 (kPa)	지진계수 (ka)	설계최대 지반가속도	적용 토층 두께(h, m)
건조	습윤	포화					
16.5	18.0	20.0	28.0°	5.0	0.077	0.11g	$D_{soil} = 2.5 - 1.5 \frac{\tan \alpha}{\tan 60^\circ}$ (국내 울주군 적용식 적용, Cho&kim, 2001)

2.1 정적안정성 해석

GIS 지리정보 위하여 지형도, 지질도, 토양도, 토질강도 물성치 및 지하수위를 감안한 자료로 DB를 구축하여 중첩기법을 활용한 그림 2.1과 같이 한계평형식에 적용하여 정적안정성에 대한 무한비탈면 안정성 해석을 시행하였다.



a) 자유물체도

$$\cdot \text{완전건조상태} : FS = \frac{c}{\gamma_{dry} h \sin \alpha} + \frac{\tan \phi}{\tan \alpha}$$

$$\cdot \text{완전포화상태} : FS = \frac{c}{\gamma_{sat} h \sin \alpha} + \left(1 - \frac{\gamma_w}{\gamma_{sat}}\right) \frac{\tan \phi}{\tan \alpha}$$

$$\cdot \text{부분포화상태} : FS = \frac{c}{\gamma_t h \sin \alpha} + \left(1 - S \frac{\gamma_w}{\gamma_t}\right) \frac{\tan \phi}{\tan \alpha}$$

c: 점착력, h: 표토층 두께, α : 사면 경사각, ϕ : 내부마찰각, S: 포화도(0~1)

b) 정적안전을 평가 방법

그림 2.1 정적안전을 비탈면 안전성 평가 방법

안정성 검토결과 그림 2.2에서 건기 시 정적안전을 1.0 이하는 5.2%의 분포를 가지며 산계가 발달한 지역에 분포하며 우기 시 정적안전을 1.0 이하는 6.6%의 분포를 보이며 건기 시와 비교했을 때 소폭 증가하였다.



a) 광역적 정적안정을 분석(건기시)



b) 광역적 정적안정을 분석(우기시)

그림 2.2 정적안정성 해석 결과

2.2 Newmark 변위해석

동적안정해석인 Newmark model을 적용하여 산사태에 취약한 무한비탈면의 영구변위를 산정하기 위해 항복가속도를 고려한 활동 블록법(Sliding Block Method)을 제한하였고, 안전율이 1.0이 되는 순간의 강성 블록에 작용하는 가속도를 항복가속도를 정의하였다. 지반가속도의 크기가 항복가속도를 초과할 때 영구변위가 발생한다는 이론에 따라 다음 표 2.2를 적용하여 분석하였다.

표 2.2 강성블록해석 변위식

임계가속도(∂_c) 산정식	Ambraseys & Menu(1988)
$\partial_c = (FS-1)g\sin\theta$ (Fs: 정적안전율, g: 중력가속도, θ : 비탈면경사각)	$D_N = 0.9 + \log\left[\left(1 - \frac{\partial_c}{\partial_{max}}\right)^{0.253} \left(\frac{\partial_c}{\partial_{max}}\right)^{-1.09}\right]$ (D_N : Newmark 변위, ∂_{max} : 최대가속도)

Newmark 변위 해석결과(그림 2.3) 건기시 변위가 50cm 이상인 지역은 1.03%를 보이며 저수지 유역 주변 산계가 발달하는 지역에 분포 되었으며, 우기시 변위가 50cm 이상인 지역은 1.13%를 차지하여 건기시와 유사하게 나타났다. 대부분의 면적이 소규모로 영향은 미비한 것으로 판단되나 지방도 313호선 지역 설계 계획에서 추가적인 깎기 구간이 발생되어 안정성이 감소가 예상되는 지역으로 강도감소법에 의한 비탈면 안정성검토가 필요하다고 판단되었다.

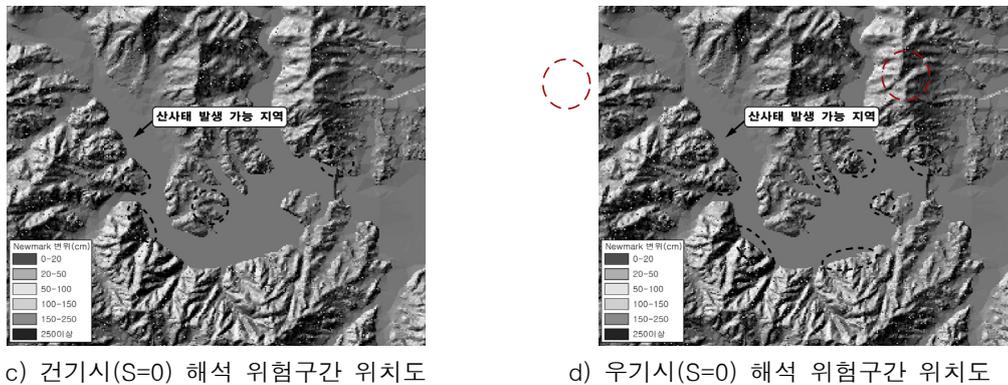


그림 2.3 Newmark 변위 해석 결과

3. 강도감소법에 의한 비탈면 안정 해석

비탈면 정밀해석으로 산사태에 취약한 지역(지방도 313호선)에 모멘트 평형으로 하는 Bishop법으로 선정하였고, 강도감소법에 의한 비탈면 안정성 검토로 신뢰도를 확보하였다. 지방도 313호선의 깎기 구간의 높이는 4.54m ~ 25.42m로 다양하게 나타났으나 가장 위험한 구간은 14.70m ~ 25.42m를 적용하였다.

강도감소법 해석 시 강도감소계수(SRF, Strength Reduction Factor)를 적용하여 강도정수(내부마찰각, 점착력)를 감소시켜가며 한계평형상태에 이를 때까지 반복 계산하여 비탈면 안전을 산정하였다.(Matsui & San, 1992)

$$c'_f = \frac{c'}{SRF}, \quad \Phi'_f = \arctan\left(\frac{\tan\Phi'}{SRF}\right) \quad (1)$$

절편법(Method of Slice)은 파괴형태를 가정하여 파괴시의 힘 및 모멘트 평형만을 고려하지만 수치해석을 통한 강도감소법은 전 영역에 대한 해석으로 파괴활동형태와 지반내 응력 변화 및 전

단파괴와 소성영역 확인이 가능하여 설계 검토에 신뢰성을 향상시켰다.

검토 결과 그림 3.1 a는 GIS분석에서 산사태 취약한 지역에 한계평형해석을 실시하여 설계 기준에 만족하여 안전한 구간임을 확인하였고, 동일한 지역에 깎기 비탈면을 추가적으로 발생하였을 시 그림 3.1 b-1에서 한계평형해석 결과는 안전율이 1.73으로 설계기준에 만족하였으며 그림 3.1 b-2에서 강도감소법에 의한 안전율을 검증으로 설계 검토 신뢰도를 향상시킨 안전율 또한 설계기준에는 만족하였다.

비탈면에 추가적인 보강공법이 불필요하지만, 강우에 의한 세굴과 침식에 의한 지반강도 감소가 예상되어 비탈면 보호공법 적용이 필요하다고 판단되었다.

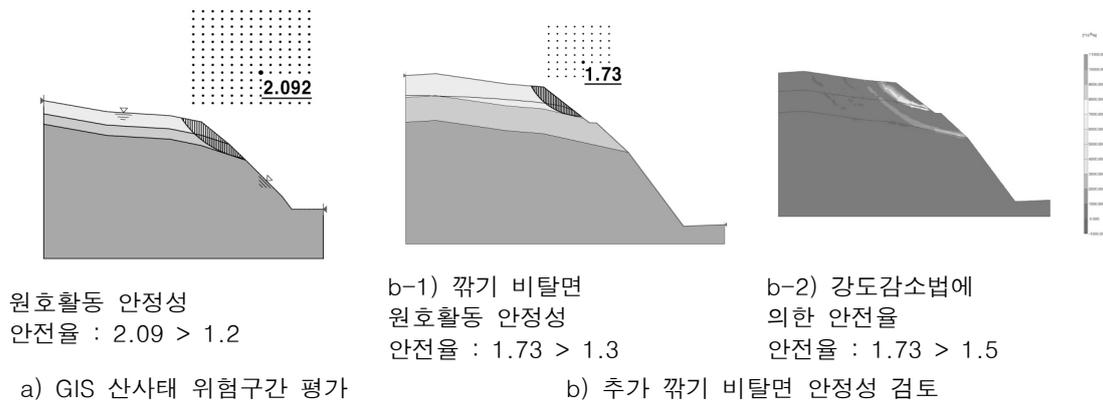


그림 3.1 비탈면 안정성 검토

4. 비탈면 보호공법

위험지역 지역(지방도 313호선)지역의 상세검토 결과 안전율이 설계기준에 만족하지만, 비보호 시 강우로 인한 침식 및 세굴 방지를 위해서 표 4.1과 같이 비탈면 녹화공법 선정을 도로비탈면 녹화공사의 설계 및 시공지침에 의하여 계획하였고, 향후 이상변위에 의한 비탈면 거동을 예측하기 위하여 계획을 그림 4.1과 같이 수립하였다.

표 4.1 비탈면 녹화공법 적용

구 분	토질특성	경사도	적용공법
깎기구간 (지방도 313호선)	일반토사	1:1.2~1:1.5	NET + 종자분사파종공법
	리핑암	1:1	얇은층 식생기반재취부공법
	발파암	1:0.7	두꺼운 식생기반재취부공법

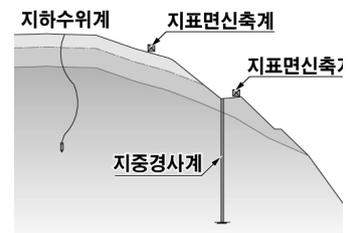


그림 4.1 비탈면 계측 계획

*도로비탈면 녹화공사의 설계 및 시공지침(국토해양부,2009)

4. 결 론

GIS 산사태 분석을 통하여 광범위한 지역의 비탈면의 안정성을 파악하고, 취약지역을 확인하였다. 또한, 강도감소법 해석을 실시하여 설계의 신뢰도를 향상시킬 수 있었다.

지방도 313도로지역이 취약지역으로 판단되었으나 비탈면 안정 해석결과 안전율이 2.09로 안정한 것으로 확인되었고, 추가적인 개발로 인한 안전율은 1.73으로 안전했다. 추후 침식 및 세굴로 인한 비탈면 안정성에 대하여 보호공법을 적용하여, 이상변위 거동에 의한 비탈면 안정성에 대한 계획하였다. 향후 비탈면의 이상거동을 확인하기 위하여 계측 계획을 수립하였다.

백곡저수지 지역의 GIS 분석은 강도감소법에 의한 해석과 비교하여 안전측에 해당하는 것으로 판단 할 수 있었다. 하지만 향후 타 지역의 추가 비교 검토를 통하여 GIS 분석이 안전측의 결과를 보이는지 추가 연구가 필요하다고 판단된다.